

# 국내 가축분뇨 혐기소화시설 현황 및 운영실태 분석

정광화\* · 김종곤 · 한덕우 · 곽정훈

농촌진흥청 국립축산과학원

## Status of Anaerobic Digestion Facility for Pig-slurry in Korea

Kwang-Hwa Jeong, Jung-Gon Kim, Duk-Woo Han, Jung-Hun Kwag

National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon, Korea

### ABSTRACT

This study was conducted to survey and inspect the currently operating anaerobic digestion facilities for animal manure. Recently, the number of anaerobic digestion facility for livestock manure is on the rise thanks to growing interest in developing alternative energy. A anaerobic digestion system has been constructed in large scale farms or animal manure public resource center. Currently, most animal manure anaerobic digestion facilities in operation are producing biogas from the pig slurry which contains 97% water. Methane gas can be used to operate a engine generator which then produces electricity. Anaerobic digestate, a by-product of digestion, is mostly utilized as a liquid fertilizer after curing processing. Only in a few cases, it can be discharged after wastewater treatment process. The problem of anaerobic digestate treatment is the imbalance of C/N ratio. The content of N was too high to keep it into normal process.

(Key words : Anaerobic digestion, Biogas, Livestock manure, Treatment facility)

### 서 론

개별 양축농가의 사육규모가 확대됨에 따라 단위농가에서의 가축분뇨 발생량이 늘어가는 추세가 지속되고 있다. 이에 따라 국내 가축분뇨 총 발생량도 증가하고 있으며 지난 '13년말 기준으로 가축분뇨 발생량은 총 47,235 천 톤에 달해서 '12년 말의 46,489 천

톤보다 약 846 천 톤이 늘었다 (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2013. Outcome of animal waste generation and recycling). 이중 89.2%인 42,129 천 톤이 퇴비화와 액비화의 방법에 의해 자원화 되었다. 최근 들어서는 온실가스 발생량 감축 및 친환경에너지 확보차원에서의 바이오가스 생산기술 적용이 가축분뇨 처리방법의 중요한

\*Corresponding author : Jeong Kwang-Hwa, Animal Environment Division, National Institute of Animal Science, R.D.A., Suwon 441-706, Korea.

Tel: +82-31-290-1732, E-mail: gwhaju@korra.kr

2014년 3월 10일 투고, 2014년 3월 18일 심사완료, 2014년 3월 19일 게재확정

한 축으로 인식되어져 가고 있다. '12년말 기준으로 예상 가축분뇨 혐기소화 물량은 21 천 톤에 머물렀지만 축산분야에서 향후 '17년 말까지 혐기소화 물량을 연간 441 천 톤까지 끌어올릴 계획에 있다 (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2013. Middle & Long-term plan for recycling of livestock manure). 따라서 '14년 현재에는 민간과 공공 부문을 통틀어서 약 20 여 개소의 가축분뇨 혐기소화시설이 실제 운영되고 있으나 앞으로는 그 개소수가 더 늘어날 것으로 예측된다. 가축분뇨 처리 중장기 계획에 따르면 총 21 개소의 가축분뇨 공공 바이오가스화 시설이 '17년까지 설립, 운영되어질 계획이다. 여기에 민간차원에서 바이오가스화 시설까지 더해진다면 향후에는 가축분뇨를 이용한 바이오가스화 기술적용이 크게 확대되어질 것이다. 한편으로 국가에너지 기본계획에 따르면 '30년까지 신·재생에너지 보급률을 11%까지 확대할 예정으로 되어있어 가축분뇨 바이오가스화 기술적용은 지속적으로 늘어날 것으로 예측된다. 혐기소화에 의한 가축분뇨 처리는 고농도 유기성 폐기물을 처리함과 동시에 유용한 바이오가스를 회수할 수 있다는 일거양득의 차원에서 효율성이 높은 방법으로 인식되어지고 있다 (Jeong et al, 2013). 이에 따라 국내 축산분야에서의 가축분뇨 바이오가스화 기술개발이 활발하게 진행되고 있는 상황이다. 액비화에 의한 소화폐액 처리에 대한 연구 (Albuquerque et al, 2012)와 경작지 환원 관련기술에 대한 관심이 높아지는 등 (Kim et al, 2011; Kim et al, 2011) 액비화에 의한 혐기소화 폐액처리 분야가 확장되고 있는 것도 바이오가스화 기술 확대의 연장선으로 볼 수 있다. 혐기소화 후 배출되는 혐

기소화액은 투입된 원 분뇨에 비해 악취요인이 현저히 감소되므로 환경친화적인 자원처리가 가능하다 이와 동시에 혐기발효과정에서 생성되는 바이오가스는 고유가 시대의 화석연료를 대체할 수 있는 유용한 청정에너지원으로 활용할 수 있다 (Clemens et al, 2006; Bonmati et al., 2001; van Lier et al., 2001). 최근에는 가축분뇨 바이오가스화 효율을 높이기 위하여 가축분뇨 단독소화 방식에서 탈피하여 음식물 탈리액 등과 병합하여 통합소화 하는 연구도 활발하게 진행되고 있다 (Nam Hyo Heo et al. 2001; Kim, S. H et al. 2012; Park, W. K et al. 2011). 향후에도 가축분뇨 공동자원화 사업이 더 확대보급될 예정으로 있으므로 가축분뇨 처리분야에서의 바이오가스화 방법의 적용도 동시에 늘어날 것으로 보여진다. 이런 상황을 고려한다면 현재 국내에서 운영되고 있는 가축분뇨 바이오가스화 시설의 형태와 운영현황 등에 대한 종합적 분석을 수행 하는 것이 향후 가축분뇨 바이오가스화 시설과 관련기술 발전에 긍정적 역할을 할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구는 현재 국내에 설치되어 운영중인 가축분뇨 바이오가스화 시설에 대한 현황을 조사, 분석하기 위한 목적으로 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사 대상 선정 및 조사 방법

현재 국내에서 운영중에 있는 가축분뇨 바이오가스화 시설을 대상으로 현황조사를 실시하였다. 본 연구에서는 가축분뇨를 주 원료로 사용하는 바이오가스화 시설의 규모와 시설형태 등에 대한 조사, 분석을 실시하였

다. 조사대상은 국내에서 현재 운영중인 가축분뇨 바이오가스화 시설을 모두 포함시켰다. 시설이 설치되어 있다 하더라도 시설이 폐쇄되거나 운영이 단기간 내에 재개되기 어려운 시설은 조사대상에 포함시키지 않았다. 조사 방법은 혐기소화 시설이 설치된 현지를 방문하여 시설의 설치형태를 확인하고 운영 관련 상황에 대한 조사, 분석을 수행하는 방식을 적용하였다. 주요 조사 항목은 처리하는 혐기소화 원료, 혐기소화조의 형태, 소화조 규모, 소화조 운영방식, 소화폐액 처리방식, 발생된 에너지의 활용방식 등에 관련된 사항을 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 조사대상 시설 지역별 분포

본 조사 연구에서 분석한 가축분뇨 바이오가스화 시설의 지역별 분포 현황은 Table 1과 같다.

조사 대상 가축분뇨 혐기소화 시설의 지역적 분포 상황을 보면 전북이 6개소로 가장 많았고 경기도 4개소, 경남이 3개소 그리고 전남, 충남, 제주 등이 각각 2개소씩이다.

### 2. 조사대상 시설의 특성 분석

본 조사 연구에서 분석한 가축분뇨 바이오가스화 시설의 설치주체를 분석한 결과는

Table 2와 같다.

가축분뇨 바이오가스화 시설을 설치한 주체를 조사한 결과 양축농가가 직접 설치한 시설이 9개소로 가장 많았다. 지자체나 영농조합을 위주로 한 공공적 성격 또는 조합과 같은 목적단체 등이 설치한 가축분뇨 공동자원화 시설과 같은 플랜트에 설치된 시설이 8개소였다. 그리고 국공립 연구기관이 설치한 시설이 2개소가 운영되고 있었다.

혐기소화조는 소화조 구성 형태에 따라 혐기소화조 내에서 산 생성 단계와 메탄 생성 단계가 동시에 진행되는 형태인 단상소화조와 산 생성 반응조와 메탄 생성 반응조를 독립적으로 분리하여 설치, 운영하는 이상 혐기소화조 형태로 구분된다. 본 조사 연구의 분석대상 가축분뇨 바이오가스화 시설의 혐기소화조 형태를 분석한 결과는 Table 3과 같다.

Table 2. The owner of biogas plant.

Item	Private	Public (Union)	Research Institute
Gyeong-gi	2	1	1
Chung-nam	1	1	—
Jeon-buk	1	4	1
Jeon-nam	1	1	—
Kyung-nam	2	1	—
Jeju	2	—	—
Sum	9	8	2

Table 1. Distribution of biogas plant.

Item	Gyeong-gi	Chung-nam	Jeon-buk	Jeon-nam	Kyung-nam	Jeju
Number	4	2	6	2	3	2

Table 3. Type of anaerobic digester.

Item	Two-stage	One-stage
Gyeong-gi	1	3
Chung-nam	1	1
Jeon-buk	4	2
Jeon-nam	1	1
Kyung-nam	—	3
Jeju	—	2
Sum	7	12

조사대상 가축분뇨 바이오가스화 시설 중 단상소화조 형태로 가축분뇨 혐기소화시설을 설치, 운영하는 경우가 12개소로 조사대상 전체 시설수 19개소의 약 63.2%를 차지하고 있었다. 혐기소화 시설 설치시기를 기준하여 보면 2010년 이후에 설치되는 가축분뇨 혐기소화 시설의 경우 단상보다는 이상 혐기소화조 방식을 취하는 경우가 늘고 있다는 특징이 있다.

혐기소화조 내에 투입하는 원료의 구성에 따라 단독소화와 통합소화로 구분할 수 있다. 우리나라에 설치, 운영되고 있는 가축분뇨 혐기소화 시설의 경우 폐지분뇨 슬러리만을 원료로 하는 단독소화 방식과 음식물 등 유기성 부산물을 폐지분뇨 슬러리와 혼합하여 혐기소화하는 통합소화 방식 등의 두 가지 형태이다. 본 조사 연구의 분석대상 가축분뇨 바이오가스화 시설의 혐기소화조를 단독 혐기소화시설과 통합 혐기소화시설 방식으로 구분한 결과는 Table 4에 나타난 바와 같다.

소화원료 조성에 따른 소화방식을 구분한 결과 가축분뇨만을 혐기소화하는 단독혐기소

Table 4. Classification of anaerobic digester according to type of substrate composition.

Item	Digestion	Co-digestion
Gyeong-gi	3	1
Chung-nam	1	1
Jeon-buk	6	-
Jeon-nam	1	1
Kyung-nam	2	1
Jeju	2	-
Total	15 (78.9%)	4 (21.1%)

화 방식을 적용하고 있는 시설이 15개소로서 전체 조사대상 시설 중 78.9%를 차지하고 있어서 음식물 등을 혼합하여 처리하는 소화조 운영방식을 취하고 있는 통합 혐기소화시설 4개소에 비해 훨씬 많이 보급되어 있는 것으로 나타났다.

가축분뇨 혐기소화 시설 설치 지역별로 1일 처리량을 분석한 결과는 Fig. 1에 나타난 바와 같다.

가축분뇨 혐기소화 시설에서 하루에 처리하는 가축분뇨 설계용량을 50 m<sup>3</sup>를 기준으로

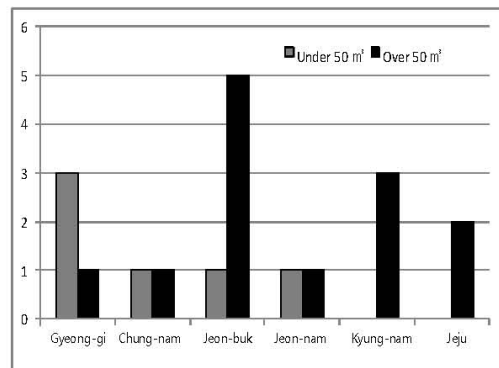


Fig. 1. Treatment volume a day.

구분하여 조사한 결과 경남과 제주지역에 설치된 혐기소화 시설은 모두 50 m<sup>3</sup> 이상의 시설로 구성되어 있었다. 전북지역의 경우에는 조사대상 시설 총 6개소 중 5개소가 50 m<sup>3</sup> 이상의 시설이었고 1개소만이 50 m<sup>3</sup> 미만 규모로 설치, 운영되고 있었다. 경기지역은 4개 중 1개소만이 50 m<sup>3</sup> 규모 이상이었고, 충남지역과 전남지역은 각각 2개소씩의 가축분뇨 혐기소화 시설을 운영하고 있었는데 두 지역 모두 50 m<sup>3</sup> 이상의 시설 1개소 그리고 50 m<sup>3</sup> 이하의 시설 1개소 씩으로 구성되어 있었다.

가축분뇨 혐기소화 시설을 설치, 운영하는 주체에 따른 시설의 규모를 구분한 결과는 Fig. 2에 나타난 바와 같다.

혐기소화 시설을 설치 운영하는 주체의 유형에 따라 각 시설의 1일 처리용량을 구분하여 분석한 결과, 지자체를 포함한 공공적 성격을 지닌 운영주체가 설치한 시설은 모두가 50 m<sup>3</sup> 이상의 시설규모를 가지고 있었다. 생산자 단체나 법인 등 조합의 형태를 지닌 운영 주체가 설치한 시설의 경우에도 모두 50 m<sup>3</sup> 이상의 시설규모를 가지고 있는 것으로 나타났다. 반면에 농장 등 개인이 설치한 시

설의 경우에는 총 9개소 중 5개소가 50 m<sup>3</sup> 이상의 시설규모를 가지고 있었고 나머지 4개소는 50 m<sup>3</sup> 미만으로 설치 운영되고 있었다. 또한 연구기관이 설치한 연구 목적 혐기소화 시설의 경우에는 각각 1일 처리규모가 각각 10톤과 20톤 규모로 설치, 운영되고 있었다.

단상과 이상 형태 등 소화조의 형태에 따른 시설 규모를 분류한 결과를 Fig. 3에 도시하였다.

단상 혐기소화시설의 경우에는 조사대상 12개 시설 중 각 6개소가 50 m<sup>3</sup> 이상의 규모로 운영되고 있으며 나머지 6개소는 50 m<sup>3</sup> 미만의 규모로 운영되고 있었다. 반면에 이상 혐기소화 시설은 조사대상 7개소 모두가 다 50 m<sup>3</sup> 이상의 규모로 설치 운영되고 있었다.

발생된 메탄을 이용하는 방식을 기준으로 조사한 결과 1개소를 제외한 전체 시설에서 생성된 메탄을 연료로 하여 엔진을 가동시켜 여기에서 발생하는 동력으로 발전기를 가동하여 전기를 생산하는 방식을 사용하고 있었다. 발생된 전기는 자가 소비하고 여분의 전기는 한전에 송전하는 방식을 적용하고 있었다.

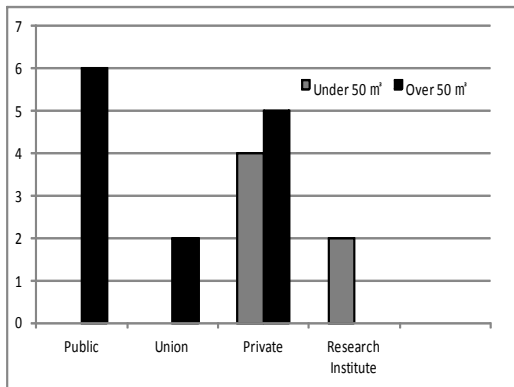


Fig. 2. Difference of treatment volume of anaerobic digester according to type of owner.

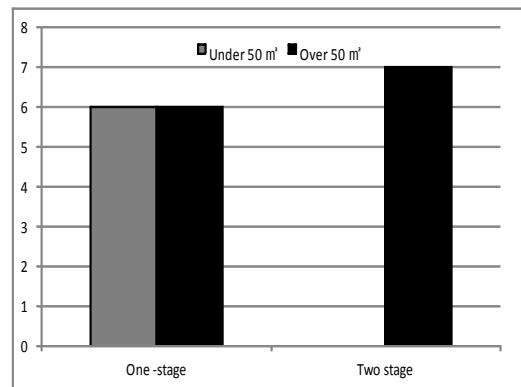


Fig. 3. Difference of treatment volume of anaerobic digester according to type of anaerobic digester.

Table 5. Removal efficacy of pollutants by filtration treatment.

Classification	Item				
	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Mn</sub>	SS	T-N	T-P
Removal efficiency (%)	98.2	75.5	86.4	38.6	57.0

혐기소화 후 발생하는 혐기소화 폐액 처리 방법을 조사한 결과는 Fig. 4에 나타난 바와 같다.

혐기 소화액 처리방식 적용형태는 조사대상 시설 19개소중 10개소가 액비화 방식을 적용하고 있었고 3개소는 정화처리 방식, 4개소는 하수 처리시설과 연계하여 처리하는 방식을 사용하고 있었다. 2개소의 경우에는 톱밥 등을 충전한 여과상을 이용하여 혐기소화액을 1차 여과처리 하는 방식을 주 처리방식으로 채택하였다. 이 경우에도 여과처리된 액을 대상으로 액비화 하는 방식을 취하고 있어 넓은 의미로는 이 방법도 액비화 방식으로 구분할 수 있다. 여과방식을 사용하는 경우의 실제 운영효율을 조사한 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 5는 혐기소화액을 여과처리하는 시설에서의 처리효과를 직접 조사, 분석한 결과를 나타낸 것이다. 혐기소화액을 여과 처리하였을 때 BOD와 COD 제거율은 각각 98.2%와 75.5% 수준인 것으로 분석되었다. 기타 SS와 T-N, T-P도 여과방식 적용에 의해 제거율이 감소하는 효과를 보였다. 이 시설의 경우 여과된 액을 폭기조에 이송하여 액비화 하는 과정을 연계하여 운영하는 방식을 취하고 있었다.

시설운영에 있어 뮌원발생 여부를 조사한 결과 조사대상 시설모두가 혐기소화 과정에서 큰 애로사항은 발생하지 않지만 액비처리



Fig. 4. Treatment method of anaerobic digestion wastewater.

과정이나 폭기처리 등 혐기소화 후처리 과정에서 냄새문제 등을 해소하기 위한 별도의 노력이 추가되는 것으로 나타났다.

## 결 론

본 조사 연구는 국내에서 운영중인 가축분뇨 혐기소화시설의 형태와 운영상황을 조사 분석한 것이다. 혐기소화시설은 전북지역에 가장 많이 분포하고 있었다 전북지역의 경우 최근엔 신설된 시설이 많았고 시설형태도 이상소화시설이 많이 적용되어있는 것으로 나타났다. 가축분뇨 혐기소화 시설의 1일 처리량을 조사한 결과 경남과 제주지역은 모두 50 m<sup>3</sup> 이상의 시설로 구성되어 있었다. 그 외 지역은 50 m<sup>3</sup> 이상과 50 m<sup>3</sup> 미만의 시설이 혼재하여 설치, 운영되고 있었다. 발생된 메

탄가스는 조사대상 시설 모두에서 발전용 연료로 사용되고 있었다. 소화액 처리방법은 액비화와 정화 그리고 여과방식 등을 사용하여 처리하고 있었는데 그 중 가장 많이 이용되는 방법은 액비화 방법이었다.

## 사 사

본 연구는 농촌진흥청 공동연구인 건·습식 통합 혐기소화기술 개발에 의한 바이오가스 생산성 증대(PJ009864) 연구수행에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

## 인 용 문 헌

1. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2013. Outcome of animal waste generation and recycling('06~'12).
2. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. 2013. Middle & Long-term plan for recycling of livestock manure.
3. Jeong, K.H., Modabber Ahmed Khan, Choi, D.Y., Lee, D.H., "Efficiency of methane production from pig manure slurry using anaerobic digester combined with compost filtration bed". Journal of the Korea organic resources recycling association, 20(1), pp. 51-59. (2013).
4. Albuquerque J.A., C. Fuente, de la., Campoy, M., Carrasco, L., Nájera, I., Baixauli C., Caravaca F., Roldán A., Cegarra J., Bernal M.P., 2012. Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. European Journal of Agronomy. 43, 119-128.
5. Kim, H.C., Yeo, J.K., Koo, Y.B., Shin, H., Choi, J.Y., Lee, H.H., 2011. Growth and Biomass Production of Fast Growing Tree Species Treated with Slurry Composting and Biofiltration Liquid Fertilizer. Korean J. Soil Sci. Fert. 44, No. 2, 206-214.
6. Kim, H.Y., Gwak, K.S., Kim H.Y., Ryu, K.O., Kim, P.G., Cho, D.H., Choi, J.Y.,
7. Clemens, J., M. Trimbom, P. Weiland and B. Amon. 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. Agri. Ecosyst. Environ. 112: 171-177.
8. Bonmati A., X. Flotats, L. Mateu and E. Campos. 2001. Study of thermal hydrolysis as a pretreatment to mesophilic anaerobic digestion of pig slurry. Water Sci. Technol. 44:109-116.
9. van Lier J.B., A. Tilche, B.K. Ahring, H. Macarie, R. Moletta, M. Dohanyo, L.W. Hulshoff Pol, P. Lens and W. Werstraete. 2001. New perspectives in anaerobic digestion. Water Sci. Techno. 43:1-18.
10. Nam Hyo Heo, Soon Chul Park, Jin Suk Lee, Joon Pyo Lee, Ho Kang. "Removal and Recovery of High Strength Ammonia-Nitrogen from Dewatering of Anaerobic Digested Sludge using Ammonia Stripping". Journal of Korean Society of Environmental Engineering, 23(4), pp. 601-612. (2001).
11. Kim, S.H and Ju, H., "Feasibility of Co-Digestion of Sewage Sludge, Swine Waste, and Food Waste Leachate". Journal

- of the Korea organic resources recycling association, 20(1), pp. 61-70. (2012).
12. Park, W.K., Park, N.B., Shin, J.D, Hong, S.G., Kwon, S.I. and, Kang, K.K., “Study on Characteristics of Biogas Production and Liquid Fertilizer with Anaerobic Co digestion of Livestock Manure and Food”. Korean Journal of soil science and fertilizer, 44(5), pp. 895-902. (2011).